

液状化対策された堤防の耐震性再評価に関する動的遠心模型実験 (その1 再評価における課題および実験条件)

独立行政法人土木研究所 正会員 ○谷本俊輔, 中島進, 中田芳貴, 佐々木哲也

1. はじめに 平成7年兵庫県南部地震を受けて、河川堤防の耐震点検および対策が緊急的に進められたが、当時の設計において考慮されていた地震動は、今日的に見れば中規模であり概ねレベル1地震動(以下, L1)に相当する。一方で、今日ではレベル2地震動(以下, L2)を対象とした堤防の耐震性評価が求められる¹⁾。しかし、L1に対して設計された耐震対策工はL2に対して外的安定・内的安定等を満足せず、地震時挙動が不安定となることが考えられ、耐震性の評価が困難となることも考えられる。本研究は、L1に対して設計・対策された堤防の耐震性の評価法について検討を行うものである。

本報では、L1に対して耐震対策がなされた堤防の耐震性を再評価するにあたっての課題を整理するとともに、これらの地震時挙動を調べることを目的として行った動的遠心模型実験の条件について述べる。

2. 従来の耐震対策工法の種類と設計法 これまでの既設の河川堤防に対する液状化対策では、堤防のかさ上げ、腹付け、緩勾配化等の盛土工法のほか、図-1に示すような堤防ののり尻付近での対策がなされてきた。これらは、液状化が生じない土層に着底あるいは根入れさせ、対策工に過大な変位が生じないことを前提に、対策工によって堤防の側方変形を抑制し、堤防の沈下量を低減する効果を期待するものである。適用実績が多いものとしては、固結工法、締固め工法、ドレーン工法、鋼材を用いた工法の4種類がある。

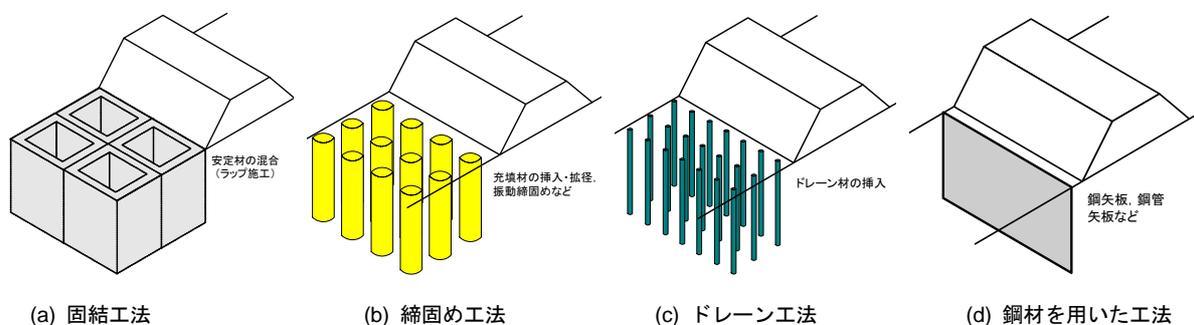


図-1 堤防の液状化対策工法

従来の設計法²⁾の詳細は工法ごとに異なるが、概略すると、①円弧すべり計算による対策後の全体安定照査とともに、工法に応じて②対策工の滑動・転倒・支持などの外的安定照査、③対策工に生じる応力度に関する内的安定照査(許容応力度照査)が行われていた。また、液状化の発生を抑制する工法である固結工法、締固め工法およびドレーン工法については、④対策範囲内の地盤に液状化を生じさせないことが求められていた。

3. レベル2地震動に対する再評価における技術課題 L2時の堤防の耐震性を評価するにしても、全く新たに対策工の設計を行う場合と、L1に対してすでに設計・対策された堤防の再評価する場合では、後者の方が難しい。特に評価が難しいと考えられる3つのパターンを図-2および以下に示す。

パターン1: 対策工を着底あるいは支持させている土層以深において、当時はL1に対して液状化判定を行った結果として非液状化層と判定されたものの、L2に対する判定を改めて行うことで液状化層と判定されるもの。中密な砂質土が該当すると考えられるが、安定計算では外的安定を喪失するものと評価される一方、液状化が生じたとしても変形が進展にくく、一定の変形抑制効果を発揮することが考えられる。

パターン2: 対策工に内部破壊が生じると評価されるもの。固化改良体の内部破壊と鋼材の塑性変形がこれに該当する。対策効果を見込むためには、対策工の強度や損傷後の評価もさることながら、対策工に作用する荷重の合理的な評価が必要である。

パターン3: ドレーン工法あるいは排水機能付き矢板工法において、過剰間隙水圧の上昇に対して排水が追い付かないもの。対策領域の過剰間隙水圧が完全に上昇すれば対策効果が急激に低下するものと考えられるが、無対策の場合に比べると幾分かの違いがある可能性も考えられる。そこで、本研究では最初に、上

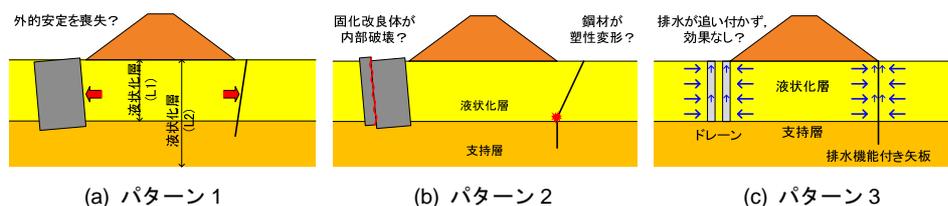


図-2 耐震性の評価が困難となることが想定されるパターン

キーワード 堤防, 液状化, 耐震対策, レベル2地震動

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 独立行政法人土木研究所 TEL029-879-6771

記のような堤防の地震時挙動を調べるための模型実験を行った。

4. 実験ケースおよび実験方法 実験には幅 1.500mm ×奥行き 300mm×高さ 500mm の剛土槽を用い、50G の遠心力場にて行った。以下に示す数値は、全て実物スケールに換算されている。実験ケースを表-1、実験模型の概要を図-3 に示す。実験ケースは前述の課題認識に基づいて設定しており、特に評価が難しいと考えられるパターンとの対応関係を表中に示している。図-3 では、紙面の都合から断面の一部のみを示しているが、模型は全て図中の中心線 (CL) で左右対称であり、センサー数が断面の左半分で少なくなっている点のみ異なる。

全ケースについて、堤防および基礎地盤の条件は同一である。堤防は高さ 6m、天端幅 5m、2 割勾配とし、締固め度 $D_c=90\%$ の江戸崎砂により模擬した。基礎地盤は上から層厚 8m、相対密度 $D_r=60\%$ の層 1、層厚 8m、 $D_r=85\%$ あるいは 95% の層 2 の 2 層から構成し、いずれも東北硅砂 7 号により模擬した。地下水位は層 1 上面に設定し、以深は粘性を 50 倍に調整したメチルセルローズ水溶液により飽和させた。盛土がサクシオンにより地下水を吸い上げ、遠心力上昇中に崩壊するのを防ぐため、盛土のうち下部 1m を粒径 1mm 程度の粗砂 (いわき硅砂 3 号) により作製した。

Case 1, 2 の固化改良体は重量を調整したアクリル箱により模擬し、改良幅を 10m、改良深度を 9m とした。層 2 に 1m の根入れをしつつ、層 2 の相対密度としては $D_r=95\%$ (Case 1)、 85% (Case 2) の 2 とおりを設定した。

Case 3 の締固め工法は東北硅砂 7 号を用いて締固め領域を一樣に $D_r=85\%$ として作製することで模擬した。改良幅は 10m であり、層 2 上面に着底させた。

Case 4~6, 8 の矢板工法については、曲げ剛性、強度および重量を実物と概ね一致させるため、図-4 のように波型に加工したステンレス版により模擬し、深さ方向に 12 点のひずみゲージを設置した。Case 4, 5, 8 は IVw 型、Case 6 は III~IIIw 型に相当する。Case 8 の排水機能付矢板は、IVw 型相当の矢板模型の凹部にドレーン材 (いわき硅砂 3 号) を充填することで模擬した。

Case 7 のドレーン工法については、いわき硅砂 3 号を 5×7 列の円柱状に配置することで模擬し、図-5 のようにドレーン径 1.0m、ドレーン間隔 2.0m とした。

入力地震動は L2 のうち継続時間の長いタイプ I 地震動とし、道路橋示方書の標準波形のうち I 種地盤の波形 (七峰橋) を解放基盤面の地震動波形とみなして入力した。Case 1 における土槽底面での加速度計測値を例として図-6 に示す。

5. まとめ 本報では、レベル 1 地震動を想定して耐震対策がなされた河川堤防について、レベル 2 地震動に対する耐震性を評価するにあたっての課題について述べるとともに、その挙動を調べるための実験の条件を示した。続報³⁾にて実験結果を報告する。

参考文献 1) 国土交通省河川局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説，2007.3. 2) 建設省土木研究所：河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル (案)，土木研究所資料，No.3513，1997.10. 3) 中島ら：液状化対策された堤防の耐震性再評価に関する動的遠心模型実験 (その 2 対策効果の比較)，第 46 回地盤工学研究発表会，2011.8 (投稿中)

表-1 実験ケース

Case	対策工法	層 2	備考
0	無対策	$D_r=95\%$	—
1 (S-95)	固結工法	$D_r=95\%$	—
2 (S-85)	固結工法	$D_r=85\%$	パターン 1
3 (C-95)	締固め工法	$D_r=95\%$	—
4 (SPIVw-95)	矢板工法 (IVw 型)	$D_r=95\%$	パターン 2
5 (SPIVw-85)	矢板工法 (IVw 型)	$D_r=85\%$	パターン 1
6 (SPIII-95)	矢板工法 (III型)	$D_r=95\%$	パターン 2
7 (D-95)	ドレーン工法	$D_r=95\%$	パターン 3
8 (DSPIVw-95)	排水機能付矢板工法 (IVw 型)	$D_r=95\%$	パターン 3

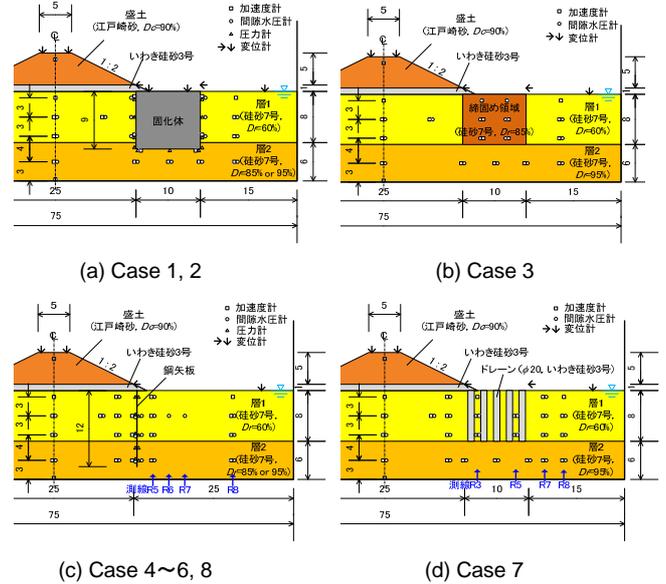


図-3 実験模型の概要 (単位 : m)

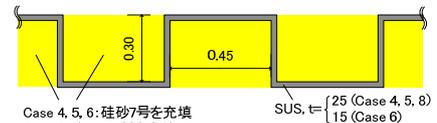


図-4 鋼矢板模型の断面図 (単位 : m)

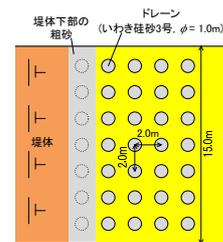


図-5 ドレーンの平面配置 (単位 : m)

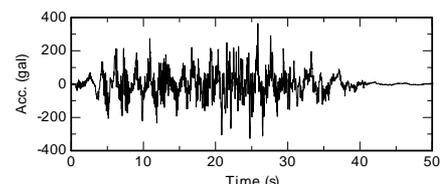


図-6 入力地震動波形 (Case 1 土槽底面計測値)